

Sonderdruck aus KW – Korrespondenz Wasserwirtschaft

PFC-Grundwassersanierungen – Technologie und Kosten aus über fünf Jahren Praxiserfahrung

*Hans-Georg Edel (Stuttgart), Dominik Korte, Clarissa Kellner (Schwaig),
Christian Schwerte und Udo Rehnig (Holzwickedede)*



TEAMS WORK.

Die ZÜBLIN Umwelttechnik ist im Konzernverbund der STRABAG SE einer der führenden europäischen Technologiekonzerne für Altlastensanierung, Grundwasser- und Bauwasserreinigung, Deponiebau und Biogasanlagen im In- und Ausland.

Mit einem eigenen Anlagenbau, innovativen Verfahren, unserem vielfältigen Dienstleistungsspektrum und interdisziplinären Teams entwickeln wir für Sie individuelle und bezahlbare Lösungen für Mensch und Umwelt.

www.zueblin-umwelttechnik.de

Züblin Umwelttechnik GmbH, Otto-Dürr-Str. 13, 70435 Stuttgart, Tel. +49 711 8202-0, umwelttechnik@zueblin.com



ZÜBLIN
TEAMS WORK.

PFC-Grundwassersanierungen – Technologie und Kosten aus über fünf Jahren Praxiserfahrung

Hans-Georg Edel (Stuttgart), Dominik Korte, Clarissa Kellner (Schwaig),
Christian Schwerte und Udo Rehnig (Holzwickede)

Zusammenfassung

Die Aktivkohleadsorption stellt derzeit die effizienteste Methode zur Entfernung von PFC aus Grundwasser dar, wie eigene Projekterfahrungen der Züblin Umwelttechnik GmbH aus mehr als fünf Jahren bestätigen. Vergleichende Untersuchungen im Rahmen eines Pilotversuchs haben gezeigt, dass es große Unterschiede bezüglich der PFC-Beladung verschiedener Aktivkohletypen gibt. Deren Beladungskapazität ist zwar vergleichsweise niedrig, allerdings sind auch die PFC-Frachten meist sehr gering, so dass die Standzeiten der Aktivkohlefilter mindestens zwölf Monate betragen. Die spezifischen Behandlungskosten für einen Wasserdurchsatz von beispielsweise 25 m³/h liegen je nach Schadstofffracht in der Regel bei etwa 0,20 – 0,80 Euro/m³. PFC-beladene Aktivkohle kann nach erfolgter Reaktivierung wieder eingesetzt werden. Störstoffe im Grundwasser erfordern zusätzliche Maßnahmen. Bei der Unterirdischen Enteisung (UEE) fallen keine PFC-haltigen Eisen-/Manganschlämme an, so dass die ansonsten hohen Entsorgungskosten entfallen.

Schlagwörter: Aktivkohleadsorption, PFC, Grundwasser, Störstoffe, Manganschlamm, Grundwassersanierung

DOI: 10.3243/kwe2015.09.001

Abstract

PFC Groundwater Remediation – Technology and Costs from over Five Years Practical Experience

The activated carbon adsorption currently represents the most efficient method of removing PFC from groundwater, as own-project experiences of the Züblin Umwelttechnik GmbH from more than five years confirm. Comparative investigations within the framework of a pilot trial have shown that there are large differences with regard to the PFC loading of various types of active carbon. Although their loading capacity is comparatively low, the PFC loads, however, are also usually very small so that the lives of the active carbons are at least twelve months. The specific treatment costs for a water throughput of, for example, 25 m³/h as a rule lie, depending on the pollutant load, at some €0.20 – €0.80/m³. PFC loaded activated carbon, following successful reactivation, can be employed again. Impurities in the groundwater require additional measures. With underground deferrisation (UEE) no iron/manganese sludge containing PFC is yielded, so that the otherwise high disposal costs are not applicable.

Key words: activated carbon adsorption, PFC, groundwater, impurities, manganese sludge, groundwater remediation

Einleitung

Seit der Aufdeckung eines Umweltskandals in Nordrhein-Westfalen im Jahre 2006 wurde in Deutschland erkannt, dass per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) eine ernsthafte Gefahr für die Trinkwasserversorgung darstellen [1]. PFC sind ubiquitär nachweisbar und die daraus resultierende Problematik wird auch in Europa und den USA bearbeitet [2, 3]. In Deutschland wurden inzwischen zahlreiche PFC-Grundwasserschadensfälle entdeckt, die meistens durch Löschmittelschäume oder illegale Ablagerungen von PFC-haltigen Abfällen verursacht wurden und in einigen Fällen im Zusammenhang mit der Verwendung von PFC in der Textil-, Papier-, Foto- und Galvanischen Industrie stehen. Die neue Schadstoffklasse der PFC erfordert effiziente Technologien, damit Grundwassersanierungen auch bezahlbar bleiben.

Praktische Erfahrungen

Gegenwärtig werden verschiedene Verfahren und Materialien im Hinblick auf ihre Eignung zur Entfernung von PFC erprobt, wobei die Adsorption an Aktivkohle derzeit die wirtschaftlichste und effizienteste Methode darstellt [4]. Die Züblin Umwelttechnik GmbH kann inzwischen auf über fünf Jahre Praxiserfahrung aus rund einem Dutzend PFC-Grundwassersanierungen zurückblicken. Dabei handelt es sich sowohl um Monoschäden mit PFC als einzige Schadstoffklasse als auch um Schadensfälle, die neben PFC weitere Schadstoffe enthalten. Die eingesetzten Wasserreinigungsanlagen haben einen Durchsatz 1 bis 360 m³/h bei Zulaufkonzentrationen von 1–100 µg/L PFC (Abbildung 1). In allen Fällen werden Ablaufwerte von < 0,01 µg/L Summe PFC erreicht, die damit deutlich unter dem



Abb. 1: Stationäre Reinigungsanlage für PFC-haltiges Grundwasser, Durchsatz max. 360 m³/h

Zielwert von < 0,03 µg/L liegen¹. Im vorliegenden Beitrag werden zwei aktuelle Grundwassersanierungsprojekte näher vorgestellt.

Fallbeispiel 1: Chemische Industrie, Nordrhein-Westfalen

Das Grundwasser eines Standorts der Chemischen Industrie in Nordrhein-Westfalen weist eine PFC-Belastung auf, die durch

¹ Der Zielwert von Summe PFC < 0,03 µg/L entspricht dem Leitwert, der von der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit für lebenslang duldbare PFC-Gehalte im Trinkwasser empfohlen wurde [5]. Rechtsverbindliche Grenzwerte für PFC im Grundwasser gibt es bislang noch nicht.

langjährige Übungen mit Feuerlöschschaum verursacht wurde. Die gutachterliche Sanierungsuntersuchung kam zu dem Schluss, dass das Pump-and-Treat Verfahren für den vorliegenden Schadensfall am besten geeignet ist, um ein Abströmen der Schadstoffe mit dem Grundwasser zu verhindern. Als Reinigungsverfahren für die PFC wurde die Adsorption an Aktivkohle festgelegt, weil damit die größten praktischen Erfahrungen vorliegen.

In der Sanierungsphase 1 wurde zunächst eine Pilotsanierung mit einer Grundwasserentnahme von 5-10 m³/h aus einer bestehenden Grundwassermessstelle durchgeführt. Die Summe der PFC-Gehalte betrug ca. 20-35 µg/L und umfasste zehn plus zwei zusätzliche Einzelverbindungen gemäß Liste LANUV-NRW, die nach der Analysenmethode nach DIN 38407-42 untersucht wurden (Tabelle 1).

Der Anteil an PFOS lag bei 75-80 %, der von PFHxS bei 12–16 %, der Rest verteilte sich auf die übrigen PFC. Das abgepumpte Grundwasser ist mit einer Gesamthärte von 4,51 mmol/L bzw. 25,3 °dH als hart einzustufen. Der DOC-Gehalt betrug 1,0 mg/L, die Eisen- und Mangangehalte lagen unter 0,1 mg/L bzw. unter 0,01 mg/L.

Das Grundwasser wurde über Aktivkohle gereinigt und anschließend in einen Kanal eingeleitet. Ziel der Pilotsanierung war es, den optimalen Aktivkohletyp für den Standort zu bestimmen, verfahrenstechnische Risiken aufgrund des Wasserchemismus zu beherrschen und gegebenenfalls erforderliche technische Lösungen zu entwickeln. Außerdem wurde untersucht, ob auch ein Ionenaustauscherharz zur effizienten Reinigung geeignet ist.

Die Pilotreinigungsanlage bestand im Wesentlichen aus einem rückspülbaren Kiesfilter, drei baugleichen Druckfiltern mit 1 m³ Nennvolumen, befüllt mit unterschiedlichen Aktivkohletypen (GAC Z1-3) von drei Herstellern, einem Polizeifilter mit 8 m³ Nennvolumen und einer SPS zur Anlagensteuerung (Abbildung 2). Um verlässliche und reproduzierbare Versuchsergebnisse zu erhalten, wurde über eine aufwändige Regelung sichergestellt, dass die Aktivkohlefilter und der Ionenaustauscher kontinuierlich mit einer konstanten Durchflussmenge beschickt wurden.

Diese Pilotanlage hat im Zeitraum vom September 2013 bis April 2014 rund 100 000 m³ Grundwasser gereinigt und knapp

Abkürzung	Bezeichnung	Strukturformel	M _r ¹
PFBA	Perfluorbutansäure	F ₃ C-(CF ₂) ₂ -COOH	214,04
PFPeA	Perfluorpentansäure	F ₃ C-(CF ₂) ₃ -COOH	264,05
PFHxA	Perfluorhexansäure	F ₃ C-(CF ₂) ₄ -COOH	314,05
PFHpA	Perfluorheptansäure	F ₃ C-(CF ₂) ₅ -COOH	364,06
PFOA	Perfluoroctansäure	F ₃ C-(CF ₂) ₆ -COOH	414,07
PFNA	Perfluornonansäure	F ₃ C-(CF ₂) ₇ -COOH	464,08
PFDA	Perfluordecansäure	F ₃ C-(CF ₂) ₈ -COOH	514,08
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure	F ₃ C-(CF ₂) ₂ -SO ₃ H	300,10
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure	F ₃ C-(CF ₂) ₄ -SO ₃ H	400,11
6:2 FTS	1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure	H ₄ FC ₂ -(CF ₂) ₆ -SO ₃ H	428,16
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure	F ₃ C-(CF ₂) ₇ -SO ₃ H	500,13
8:2 FTS	1H,1H,2H,2H-Perfluordecansulfonsäure	H ₄ FC ₂ -(CF ₂) ₈ -SO ₃ H	528,18

¹ M_r: Relative Molekülmasse

Tabelle 1: Untersuchungsprogramm PFC: 10+2 Einzelstoffe nach LANUV-NRW, Analysenmethode nach DIN 38407-42

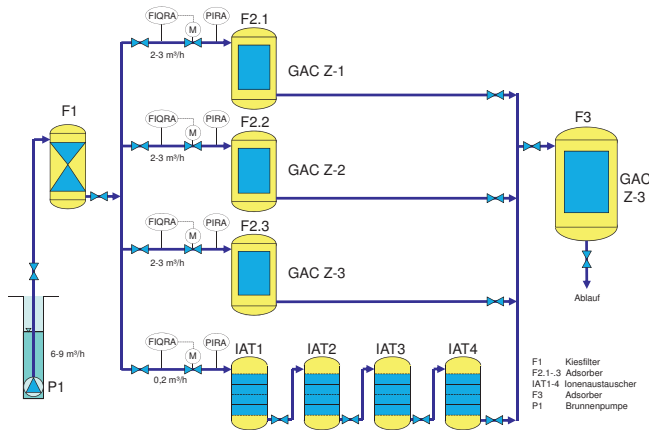


Abb. 2: Pilotreinigungsanlage, Verfahrensschema

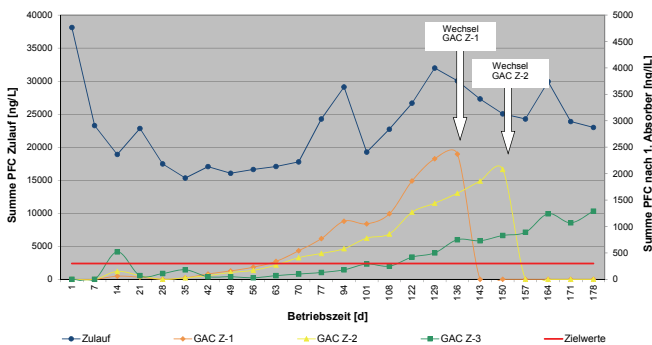


Abb. 3: PFC-Beladung von drei unterschiedlichen Aktivkohletypen GAC Z1-3

2 kg PFC entfernt. Die PFC wurden bis unter die Nachweisgrenze von $< 0,01 \mu\text{g/L}$ entfernt. Damit wurden die vereinbarten Zielwerte von $< 0,3 \mu\text{g/L}$ für die Summe PFOA+PFOS und $< 1,0 \mu\text{g/L}$ für Summe PFC deutlich unterschritten.

Die Beladung der untersuchten Adsorbentien zeigte beträchtliche Unterschiede (Abbildung 3).

Während die Aktivkohletypen GAC Z-1 und GAC Z-2 den Zielwert von $< 0,3 \mu\text{g/L}$ für die Summe PFOA+PFOS nach dem 1. Adsorber bereits nach 63 d (52%) bzw. 70 d (57%) überschritten hatten, war dies für den Aktivkohletyp GAC-Z-3 erst nach 122 d (100%) der Fall. Das Ionenaustauscherharz brach bereits nach 7 d (5%) durch und hat sich in diesem Fallbeispiel als ungeeignet erwiesen.

PFC-Konz. [$\mu\text{g/L}$]	PFC-Fracht [kg/a]	Aktivkohleverbrauch [kg/a]	Aktivkohlekosten [€/m ³]	Spez. Kosten [€/m ³]
0	0	0	0,00	0,18
1	0,219	438	0,01	0,19
5	1,095	2190	0,03	0,21
10	2,190	4380	0,06	0,24
50	10,950	21900	0,30	0,48
100	21,900	43800	0,60	0,78

Tabelle 2: Modellrechnung: Spezifische Behandlungskosten von Grundwasser mit einer Aktivkohleanlage bei einem Durchsatz $Q_w = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ in Abhängigkeit von der PFC-Konzentration.

Die beobachteten Unterschiede in der PFC-Beladung der drei eingesetzten Aktivkohletypen lassen sich nicht mit deren Spezifikationen erklären.

In den Abbildungen 4 und 5 sind die PFC-Einzelstoffe und die Summe der PFC im Zulauf der Reinigungsanlage sowie nach dem 1. Aktivkohlefilter, der mit dem Aktivkohletyp GAC Z-3 gefüllt war, dargestellt. Es zeigte sich, dass zunächst die perfluorierten Carbonsäuren PFBA, PFPeA und PFHxA gefolgt von den perfluorierten Sulfonsäuren PFOS, PFHxS durchbrachen. Die übrigen PFC-Einzelverbindungen lagen unter oder knapp über der Nachweisgrenze von $0,01 \mu\text{g/L}$.

In der Sanierungsphase 2 wurde eine großtechnische Sanierungsanlage mit einer Durchsatzleistung von $60\text{--}80 \text{ m}^3/\text{h}$ installiert, die auf der Basis der Daten und Erfahrungen der Pilotanlage konzipiert worden war.

Auch 15 Monate nach Inbetriebnahme dieser stationären Grundwasserreinigungsanlage ist bislang kein Durchbruch der PFC zu verzeichnen. Für die Standzeit des ersten Aktivkohlefilters werden etwa 24 Monate prognostiziert. Die mit PFC beladene Aktivkohle wird reaktiviert und am Standort wieder verwendet, so dass kein Abfall zur Entsorgung anfällt.

Fallbeispiel 2: Flugplatz, Bayern

Das Grundwasser am Standort eines Flugplatzes in Bayern ist durch PFC belastet und überschreitet die vorläufigen Schwellenwerte von $< 0,3 \mu\text{g/L}$ für die Summe PFOS, PFOA und PFHxS, die eine Grundwassersanierung erforderlich machen. Die PFC-Gehalte von 14 Einzelsubstanzen liegen in Summe im Bereich von $1,5\text{--}2,0 \mu\text{g/L}$, wobei PFHxS und PFOS mit einem Anteil von jeweils 30–40% dominieren, PFOA ist mit 3% nur untergeordnet vorhanden. Sonstige relevante Schadstoffe wurden nicht festgestellt, allerdings sind Störstoffe enthalten. Die Konzentrationen für DOC liegen bei 5 mg/L , diejenigen von Fe^{2+} und Mn^{2+} bei ca. $0,2$ bzw. $0,6 \text{ mg/L}$.

Während der Baumaßnahmen wurde das geförderte Grundwasser über eine mobile Wasseraufbereitungsanlage gereinigt, die aus den Komponenten Enteisenung/Entmanganung, Kiesel-Filter, Absetzbecken, Aktivkohlefilter, Reinwasserbecken und einer SPS zur Anlagensteuerung bestand (Abbildung 6). Die PFC werden bis unter die Nachweisgrenze von $< 0,01 \mu\text{g/L}$ entfernt und konnten problemlos wiederversickert werden (Abbildung 7). Insgesamt fielen etwa 5 t PFC-haltiger Eisen-/Mangan-

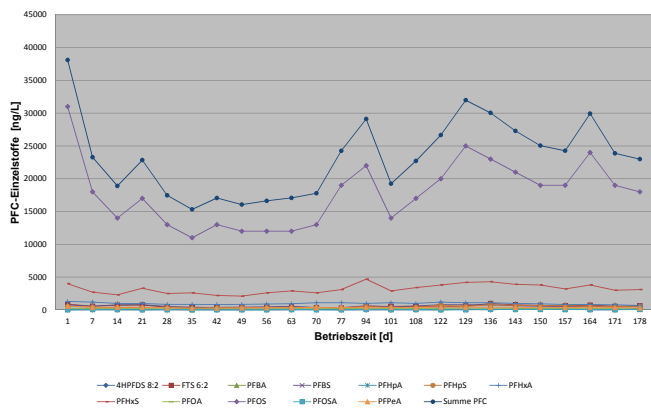


Abb. 4: Summe PFC und PFC-Einzelstoffe im Zulauf

schlamm an, der zum Preis von 470 Euro/t als Sonderabfall entsorgt werden musste.

Kostenbetrachtung

Die Betriebskosten einer Adsorberanlage zur Reinigung von Grundwasser werden in der Regel maßgeblich durch den Verbrauch an Adsorbens bestimmt. Dieser ist einerseits von der Beladepazität des Adsorbens, andererseits von der zu adsorbierenden Schadstofffracht abhängig. Die Beladepazität von PFC auf Aktivkohle ist gering und liegt im Bereich von ca. 0,1–0,01 %. Die durchschnittlichen PFC-Konzentrationen sind mit ca. 1–100 µg/L in den meisten Fällen allerdings ebenfalls niedrig, so dass nur sehr geringe Schadstofffrachten zur Adsorption anfallen.

In Tabelle 2 sind die spezifischen Behandlungskosten für eine PFC-Aktivkohleanlage mit einem Durchsatz Q_w von 25 m³/h bei PFC-Gehalten von 0-100 µg/L als Modellrechnung dargestellt. Diese basiert auf unseren bisherigen Erfahrungen mit rund einem Dutzend PFC-Grundwassersanierungen in den letzten fünf Jahren und enthält die Kosten für die Abschreibung der gesamten Anlagentechnik mit Brunnenpumpen sowie für Aktivkohle, Reaktivierung PFC-beladener Aktivkohle, elektrische Energie, Eigenüberwachung, Wartung und Service. Etwaige Störstoffe wie z. B. Fe²⁺ oder Mn²⁺ sind in dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

Bei PFC-Konzentrationen von 1 bis 100 µg/L liegen die spezifischen Behandlungskosten im Bereich von 0,19 Euro/m³ bis 0,78 Euro/m³, wobei die reinen Kosten für Aktivkohle 0,01 Euro/m³ bis 0,60 Euro/m³ betragen. Diese Daten korrelieren mit den Kosten, die vom Bayerischen Landesamt für Umwelt publiziert wurden und bei 0,40 Euro/m³ für die Aktivkohle mit der höchsten PFC-Beladung liegen [6].

Dass PFC-Grundwassersanierungen tatsächlich bezahlbar sind, zeigen die bisher durchgeführten Projekte der Züblin Umwelttechnik GmbH. Die Standzeit des ersten Aktivkohlefilters liegt durchgängig bei mindestens zwölf Monaten. Der erste Filter dient als Arbeits-, der zweite als Polizeifilter. Die Beladung der Aktivkohlefilter wird dann optimal ausgenutzt, wenn die Zulauf- gleich der Ablaufkonzentration des Filters ist. Über einen zweiten Aktivkohlefilter wird sichergestellt, dass die Grenzwerte nicht überschritten werden.

Zusätzliche Schadstoffe, Störstoffe und Aufbereitungsschlämme

Bei der Reinigung von PFC-haltigem Grundwasser sind nicht nur die PFC selbst, sondern auch sonstige organische Schad-

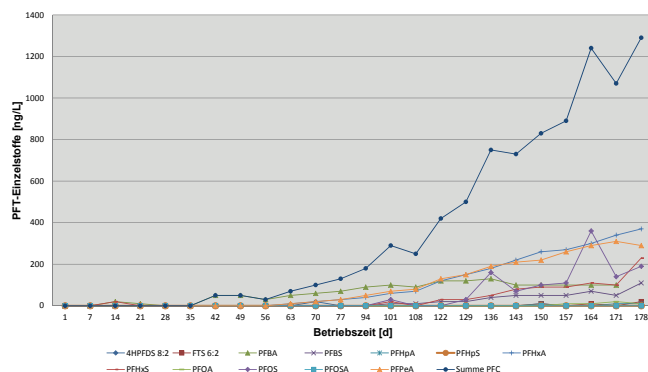


Abb. 5: Summe PFC und PFC-Einzelstoffe im Ablauf des 1. Aktivkohlefilters (Aktivkohletyp GAC Z-3)



Abb. 6: Mobile Reinigungsanlage für PFC-haltiges Grundwasser, Durchsatz 10-30 m³/h

stoffe und sogenannte Störstoffe wie DOC, Wasserhärte sowie Fe²⁺ und Mn²⁺ zu beachten, die den Aufbereitungsprozess empfindlich stören können. Um eine optimale PFC-Beladung der Aktivkohle zu erreichen, müssen vorher alle anderen Schadstoffe wie z. B. LCKW, BTEX, PAK oder MKW entfernt werden, die um die Adsorptionsplätze auf der Aktivkohle konkurrieren.

Ein erhöhter DOC-Gehalt vermindert die PFC-Beladung der Aktivkohle. Im Einzelfall muss geprüft werden, ob eine gesonderte Aufbereitungsstufe zur Abscheidung des DOC notwendig und wirtschaftlich durchführbar ist.

Bei hartem Wasser sind gegebenenfalls Gegenmaßnahmen erforderlich, um Kalkablagerungen in der Reinigungsanlage und auf dem Adsorbens zu verhindern, die nicht nur zu Störungen des Anlagenbetriebs führen, sondern auch einen frühzeitigen Aktivkohlewechsel erforderlich machen.

Enthält das PFC-haltige Grundwasser erhöhte Eisen- und Mangankonzentrationen, so ist eine Enteisung/Entmanganung vorzusehen, die entweder durch eine konventionelle Filteranlage oder durch unterirdische Enteisung / Entmanganung (UEE) gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 223-3 erfolgt [7, 8].

Das UEE-Verfahren ist seit über 100 Jahren bekannt und wird in Deutschland seit mehreren Jahrzehnten zur Aufbereitung von Trinkwasser und Grundwasser erfolgreich eingesetzt. Ein besonderer Vorteil der UEE besteht darin, dass keine PFC-haltigen Eisen-Manganschlämme anfallen, die hohe Entsorgungskosten verursachen.

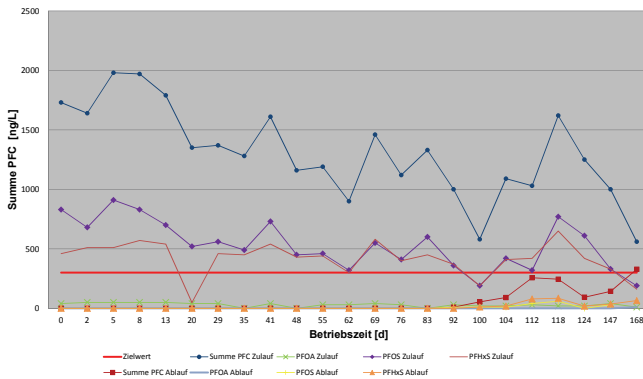


Abb. 7: Summe PFC und PFC-Einzelstoffe im Zu- und Ablauf des 1. Aktivkohlefilters

Ausblick

Aufgrund der langjährigen, breiten Anwendung per- und polyfluorierter Chemikalien und deren hohen Persistenz ist damit zu rechnen, dass im Rahmen systematischer Untersuchungen weitere PFC-Belastungen in Trinkwasserschutz-zonen und im Grundwasser entdeckt werden, die einer Sanierung bedürfen. Bereits heute existieren technisch geeignete und bezahlbare Aufbereitungsverfahren, die ständig weiter entwickelt werden. Bei komplexen Sanierungsmaßnahmen mit längerem Zeithorizont empfiehlt es sich, Pilotversuche vor Ort durchzuführen, um die technisch und wirtschaftlich optimale Lösung für den jeweiligen PFC-Schadensfall zu finden.

Literatur

- [1] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2011) *Verbreitung von PFT in der Umwelt. Ursachen – Untersuchungsstrategie – Ergebnisse – Maßnahmen*, LANUV-Fachbericht 34
- [2] Loos, R. et al. (2009) *EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters*. Environmental Pollution 157(2): 561-568
- [3] U.S. EPA (2014) *Emerging Contaminants – Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA)*, www2.epa.gov/sites/production/files/2014-04/documents/factsheet_contaminant_pfos_pfoa_march2014.pdf

- [4] Ulrich, H., Schmidt, K., Tiehms, A., Gierig, M. (2014) *Vergleich unterschiedlicher Sanierungsverfahren für PFC belastete Grundwässer*, Symposium Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung, 24./25. Nov. 2014 in Darmstadt, Vortrag
- [5] Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (2006) *Vorläufige Bewertung von Perfluorierten Tensiden (PFT) im Trinkwasser am Beispiel ihrer Leitsubstanzen Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)* www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/pft-im-trinkwasser.pdf
- [6] Ulrich, H. (2014) *Entwicklung einer Sanierungstechnologie für PFC belastete Grundwässer am Beispiel Flughafen Nürnberg*, Fachtagung „PFC-Schadensfälle – Erkundung, Sanierung und Zukunftsperspektiven“, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Vortrag
- [7] Rott, U., Friedle, M. (2000) *25 Jahre unterirdische Wasseraufbereitung in Deutschland – Rückblick und Perspektiven*, gwf Wasser-Abwasser 13/2000, 141. Jahrgang, S. 99–107
- [8] DVWG-Arbeitsblatt W 223-3 (2005b) *Enteisung und Entmangnung; Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur unterirdischen Aufbereitung*

Autoren

Dr. Hans-Georg Edel
Züblin Umwelttechnik GmbH
Otto-Dürr-Straße 13, 70435 Stuttgart
E-Mail: hans-georg.edel@zueblin.de

B.Eng. Dominik Korte
Dipl.-Ing. Clarissa Kellner
Züblin Umwelttechnik GmbH
Zweigstelle Nürnberg
Friedenstraße 52, 90571 Schwaig

E-Mail: dominik.korte@zueblin.de
clarissa.kellner@zueblin.de

Dipl.-Ing. (FH) Christian Schwerte
Dipl.-Ing. Udo Rehnig
Züblin Umwelttechnik GmbH
Zweigstelle Dortmund
Robert-Bosch-Straße 1, 59439 Holzwickede

E-Mail: christian.schwerte@zueblin.de
udo.rehnig@zueblin.de